



УДК 664.723.047

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕРНОСУШИЛКАХ НАПОЛЬНОГО ТИПА**

*С.Ю. Комиссаров, инженерный факультет, специальность «Энергообеспечение  
предприятий», 5 курс*

*Научный руководитель – И.Б. Зимин, к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВПО «Великолукская ГСХА», Россия*

*Главной проблемой в технологическом процессе сушки зерна является повышение пропускной способности сушильных агрегатов с одновременным снижением затрат тепловой энергии на единицу удаленной влаги. Одним из путей решения рассматриваемой проблемы является ворошение зерновой массы в процессе сушки. Для реализации данного способа интенсификации сушки зерна нами предлагается использовать в зерносушилках напольного типа устройство для ворошения зерновой массы.*

***Сушка зерна, агент сушки, интенсификация сушки, аэрожелоб, ворошитель***

Сушка семенной массы зерновых культур - важнейшая операция в процессе послеуборочной обработки. Поскольку главной проблемой в технологическом процессе сушки зерна является повышение пропускной способности сушильных агрегатов с одновременным снижением затрат тепловой энергии на единицу удаленной влаги, научными учреждениями, изготовителями и практикой разработаны способы интенсификации этой важной операции.

Одним из таких способов является предварительный нагрев зерна перед подачей его в сушильную камеру [1]. В промышленности для этой цели применяют специальные камеры предварительного нагрева сырого зерна. В комплексах сельхозпредприятий такой способ осуществляется при наличии в линии накопительных емкостей сырого зерна, в одном из которых с помощью дополнительного подвода теплоты (например, из того же топочного отделения сушилки) ведется подогрев. В самом простом варианте это может быть вентилируемый бункер БВ-40, к вентилятору которого подведен воздухопровод горячего теплоносителя. Возможен и вариант подогрева массы с помощью постоянно включенных электрокалориферов бункера, правда, в меньшем диапазоне. Этот способ позволяет массе начать отдачу влаги сразу же после ее загрузки в шахту сушилки, минуя процесс прогревания. Кроме того, процесс предварительного нагрева сопровождается снижением влажности зерна на 2...3%. При расчете сушильного агрегата в этом случае температура зерна на входе в сушилку будет иной.

Существенный эффект дает и перевод сушилок на работу с рециркуляцией отработавшего агента сушки, прошедшего сушильную или охладительную камеры [5]. Причем, рециркуляция отработавшего агента сушки может быть полной или частичной. Ведь в типовых конструкциях сушилок агент сушки используется однократно, пронизывая и сырую, ещё не нагретую массу в верхних секциях шахт, и полусухую, уже нагретую почти до предела массу в нижних секциях.

Из технологии сушки хорошо известно, что сырую массу необходимо подсушивать агентом с более низкой температурой. С другой стороны, если в верхней части сушилки агент сушки использует свою влагопогложительную способность почти полностью, то сказать это о нижних камерах нельзя. Другими словами, отработавший в нижних секциях шахт агент сушки имеет ещё достаточно высокую температуру и влагопогложительную способность, т.е. для массы в верхних шахтах он может ещё являться полноценным агентом сушки.

## СЕКЦІЯ 1

### «Технічні інновації та практика в управлінні якістю вищої освіти» «Науково-технічний прогрес у розвитку вищої освіти України»»



Один из таких вариантов предполагает проход агента сушки последовательно через три секции шахты колонковой сушилки, когда агент сушки с максимально возможной температурой снимает влагу сначала в нижней секции шахты, затем, несколько остыв, - в средней и, наконец, развернувшись, просушивает наиболее сырую массу в верхней секции [5]. После этого он выбрасывается в атмосферу.

Наибольшую трудность в осуществлении сушки по такой технологии, как нам представляется, будет расчет параметров процесса сушки с тем, чтобы агент сушки в верхней зоне не насытился влагой до предела, иначе вместо подсушки он будет увлажнять зерно и при определенных условиях даже образовывать конденсат, что не допустимо.

Недаром известная фирма “Картер-Дей” (США) выпускает шахтную сушилку, у которой сушильная колонна разделена на две зоны, но на рециркуляцию (причем, в топочный агрегат) направляется отработавший агент лишь с нижней сушильной зоны, смешиваясь с нагретым наружным воздухом, прошедшим охлаждающую секцию [7]. Существенное сокращение расхода топлива на нагрев смеси в топке связан с тем, что рециркулирующая часть агента сушки имеет температуру на входе в топку 32...49°C.

Технология сушки с повторным использованием отработавшего агента сушки осуществлена на сушилках шведской фирмы “Свенска Флактфабрикен”. Наружный воздух у этой шахтной сушилки просасывается вентилятором вначале через нижнюю охлаждающую камеру, затем, подогреваясь паровыми калориферами первой ступени, просушивает нижнюю сушильную камеру. Несколько увлажнившись и потеряв температуру, агент сушки снова подвергается подогреву в калориферах второй ступени и направляется на сушку в верхнюю сушильную камеру. Как видим, эта схема позволяет легко регулировать необходимую температуру агента сушки (в том числе и разную для нижней и верхней сушильных камер), одновременно поддерживая на достаточном уровне его влагопоглощательную способность.

Одним из технологических приемов повышения эффективности процесса влагоотдачи является использование отлежки нагретого зерна, когда внутри не продуваемой агентом сушки массы продолжается интенсивный влагоперенос из внутренних слоев зерновок к их поверхности, а также процесс выравнивания температуры и влажности всего слоя. Экономичность этого процесса связана с выделением влаги за счет внутренней тепловой энергии зерновок и последующего более легкого удаления этой свободной влаги. Сушилки, использующие этот прием, оборудуются промежуточными зонами отлежки между сушильными секциями шахт (шахтная сушилка ЛСО Чешской Республики). Такое же назначение имеют и промежуточные камеры польских сушилок М-819 и М-839.

Иногда процесс отлежки применяют при циклической сушке. В этом случае более длительный процесс (2,5...3 ч) называют промежуточным отволаживанием и проводят его в отдельных емкостях (например, силосах с перфорированными стенками) с обязательным удалением выделяющейся влаги вентилярованием. По такой технологии с многократным пропуском массы через сушилку и последующим отволаживанием работают японские сушилки фирмы “Сатаки”.

Наиболее эффективным технологическим приемом, особенно при подработке высоковлажного зерна, является перевод сушилок на работу в рециркуляционном режиме [4]. Обычная прямоточная сушка предусматривает однократный пропуск зерна через сушильную (сушильные) и охлаждающую камеры (колонки). При необходимости значительного влагосъема, как уже упоминалось, применяют многократный пропуск зерна через сушилку или перевод шахт (если позволяет конструкция сушилки) с параллельной на последовательную схему работы. Высоковлажное зерно можно высушить и за один пропуск, поддерживая температуру агента сушки на уровне предельно допустимой, однако в этом варианте технико-экономические показатели сушилки существенно снизятся. Во избежание перегрева и ухудшения качества зерна его влажность в прямоточных сушилках снижают не более чем на 6...8%.



В рециркуляционных же сушилках часть просушенного зерна смешивается с вновь поступающим сырым зерном, вследствие чего оно просушивается до кондиционной влажности за один пропуск. Чем выше исходная влажность сырого зерна, тем в меньшем количестве его подают в сушилку и тем большая масса сухого зерна совершает рециркуляцию.

Принцип действия рециркуляционных сушилок сводится к следующему. По замкнутому контуру сушилки непрерывно движется большой поток сухого зерна, в несколько раз превышающий фактическую производительность сушилки. В этот поток вводят сырое зерно в объеме производительности сушилки, одновременно выводя соответствующий объем сухого зерна из контура рециркуляции.

При сушке в рециркуляционном режиме сырое зерно проходит следующие стадии процесса: перемешивание с сухим рециркулирующим зерном, его нагрев, контактный влагообмен, конвективную сушку в шахте и охлаждение. Первые два процесса могут осуществляться одновременно и в одном аппарате. В некоторых вариантах рециркуляционной сушки применяют и предварительный нагрев сырого зерна.

Важным элементом этой технологии является процесс нагрева смеси сырого и рециркулирующего зерна в тепловлагодобменнике в течение 10...20 мин, где происходит перераспределение теплоты и влаги между сырыми холодными и сухими нагретыми зёрнами путем контактного тепловлагодобнопереноса (сорбционная сушка сырого зерна). При этом происходит выравнивание температуры и влажности в слое, а также перемещение влаги к поверхности единичных зерновок. Тщательное перемешивание сырых и сухих зерновок является одним из условий эффективной работы такой сушилки.

После тепловлагодобменника зерновую смесь направляют на сушку в сушильную камеру (камеры), при выгрузке из которой поток разделяется на два; один из них направляется на дальнейшую обработку или в склад, а второй – на рециркуляцию. При наличии в сушильном агрегате двух параллельно работающих шахт (большинство отечественных промышленных сушилок, а также сушилки типа СЗШ-16) из одной шахты пускают зерно на рециркуляцию, а из второй – на выгрузку. Такой вариант удобен в эксплуатации ещё и тем, что экспозицией сушки (регулировкой выгрузного устройства) во второй шахте добиваются просушки зерна до кондиции.

Известны несколько схем перевода шахтных сушилок на рециркуляцию, различающихся в основном способами нагрева и перемешивания сырого и сухого зерна.

Технологический эффект рециркуляционной сушки достигается за счет применения предварительного подогрева массы, контактного тепло-влагообмена с минимальным расходом энергии и использования агента сушки с более высокой температурой как в камере предварительного нагрева, так и в основной (рециркуляционной) камере.

В сельскохозяйственном производстве также предпринимаются попытки перевести работу шахтных сушилок на рециркуляцию. Однако вариант, разработанный ВИМом (г.Москва) для сушилок СЗШ-16 оказался слишком сложным как в изготовлении двух дополнительных узлов (смеситель и подогреватель), так и в наладке на технологические режимы сушки.

Что же касается технологического расчета параметров режима рециркуляционной сушки зерна, то необходимо отметить, что он существенно усложнился. Это связано с необходимостью задаваться дополнительно целым рядом параметров, а также с расчетом процесса смешивания зерновых масс с различными исходными параметрами.

Из технических решений, направленных на интенсификацию процесса сушки в шахтных сушилках, отметим применение коробов с жалюзийными вертикальными стенками, позволяющими снизить гидравлическое сопротивление сушимого слоя за счет сокращения его толщины (сокращения пути агента сушки) и применение коробов со стенками, наклоненными вовнутрь (увеличивается полезный объем шахт) [3].

## СЕКЦІЯ 1

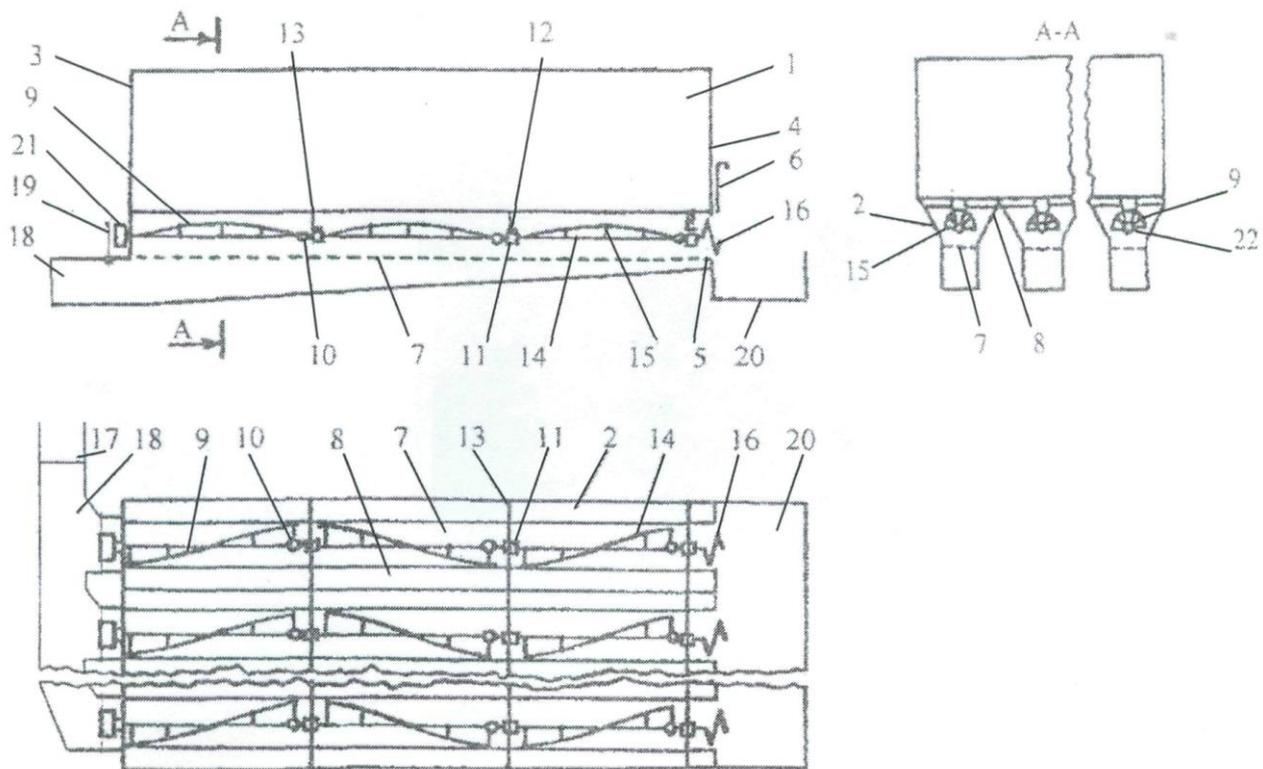
### «Технічні інновації та практика в управлінні якістю вищої освіти» «Науково-технічний прогрес у розвитку вищої освіти України»



В настоящее время в нашей стране и за рубежом для получения высококлассных семян кормовых и зерновых культур широкое применение получили напольные сушильные установки. Наряду с преимуществами, напольные сушилки обладают рядом существенных недостатков [1]:

- низкая производительность и коэффициент использования сушильного оборудования;
- длительный процесс сушки (20...36 ч и более);
- большие затраты ручного труда на погрузочно-разгрузочных работах;
- неравномерность сушки по высоте насыпи и по площади сушильной камеры;
- трудности очистки при смене культур;
- отсутствие комплексной механизации и автоматизации загрузки и выгрузки зерна.

Для исключения указанных недостатков и повышения эффективности работы напольной сушилки предлагается усовершенствовать ее сушильную камеру путем формирования воздухоподводящего канала не прямоугольной, а клиновидной формы (по типу установок аэрожелобного типа).



1-сушильная камера; 2-наклонная плоскость; 3,4-передняя и задняя стенки; 5-выгрузное окно; 6-заслонка выгрузного окна; 7-чешуйчатое сито; 8-рассекатель; 9-секция ворошителя; 10-шарнир; 11-подшипник; 12-кронштейн; 13-подвес; 14-пруток; 15-спица; 16-шнековый насадок; 17-тепловентиляционный агрегат; 18-коллектор; 19-заслонка коллектора; 20-лоток; 21-моторредуктор; 22-вал ворошителя

Рисунок 1 – Усовершенствованная напольная сушилка

Конструктивные особенности аэрожелоба позволяют обеспечить более равномерное распределение расхода агента сушки по длине и площади сушильной камеры. С целью повышения эффективности работы напольной сушилки ее также предлагается дооборудовать прутковыми ворошителями, что позволяет сушить за одну загрузку до конечной влажности и малосыпучий семенной ворох, и грубоизмельченную массу кормовых, технических и других культур [2].



В усовершенствованном варианте напольной сушилки (рисунок 1) процесс сушки происходит с периодическим ворошением сушимой массы, что позволяет снизить затраты энергии на удаление 1 кг влаги до 16,7%. Одновременно, сокращается время сушки (семенного вороха клевера - 52 мин, овса – 13мин, измельченной массы 63 мин). В результате повышается производительность напольной сушилки, по сравнению с ее базовым вариантом на 11%.

#### **Список литературы**

1. Голубкович, А.В. Сушка высоковлажных семян и зерна/ А.Г. Чижиков. - М.: Росагропромиздат. - 1991. – 174 с.
2. Дианов, Л.В. Результаты производственных исследований универсальной сушилки/ В.А. Смелик, А.С. Ширяев. – Тр. Ярославской ГСХА, Ч.III. - ЯГСХА, 2003. – С.47-51.
3. Жидко, В.И. Зерносушение и зерносушилки. – М.: Колос, 1982. – 239 с.
4. Журавлев, А.П. Теория и практика рециркуляционной сушки зерна- Самара.: Самарская ГСХА. - 2001. – 255 с.
5. Захарченко, И.В. Послеуборочная обработка зерна в Нечерноземной зоне/ И.В. Захарченко. - М.: Россельхозиздат, 1983. - 262с.
6. Малин, Н.И. Энергосберегающая сушка зерна/ Н.И. Малин. - М.: КолосС. - 2004. – 240 с.
7. Щепилов, Н.Я. Проектирование поточных линий и зерноочистительно-сушильных комплексов/ Н.Я. Щепилов. – Великие Луки: Издательский центр ВГСХА. - 1999. – 180 с.

*Главной проблемой в технологическом процессе сушки зерна является повышение пропускной способности сушильных агрегатов с одновременным снижением затрат тепловой энергии на единицу удаленной влаги. Одним из путей решения рассматриваемой проблемы является ворошение зерновой массы в процессе сушки. Для реализации данного способа интенсификации сушки зерна предлагается использовать в зерносушилках напольного типа устройство для ворошения зерновой массы.*

***Сушка зерна, агент сушки, интенсификация сушки, аэрожелоб, ворошитель***

*The main problem in technological process of drying of grain is increase of capacity of drying units with simultaneous decrease in expenses of thermal energy on unit of remote moisture. One of ways of the decision of a considered problem is the tedding of grain in the course of drying. For realisation of the given way of an intensification of drying of grain it is offered to use in dryer of floor type the device for a tedding of grain*

#### **INTENSIFICATION OF TEPLOMASSOOBMENNYY PROCESSES IN DRYER OF FLOOR TYPE**

***S.Y. Komissarov***